

強加工した鋼の焼入組織における旧オーステナイト粒粗大化と衝撃強度の発現メカニズムの解明

生産システム工学専攻 稲葉大地 指導教員 杉本剛

緒言

結晶粒粗大化の影響

まず破壊とは亀裂の発生と進展の2つに分かれ、亀裂進展に大きなエネルギーを必要とするものを靱性が高いという。つまり靱性を改善するためには亀裂の進展を抑制することが必要になる。図の亀裂進展エネルギーのグラフによれば、結晶粒が大きいときに亀裂が直線的に進展していることがわかる。

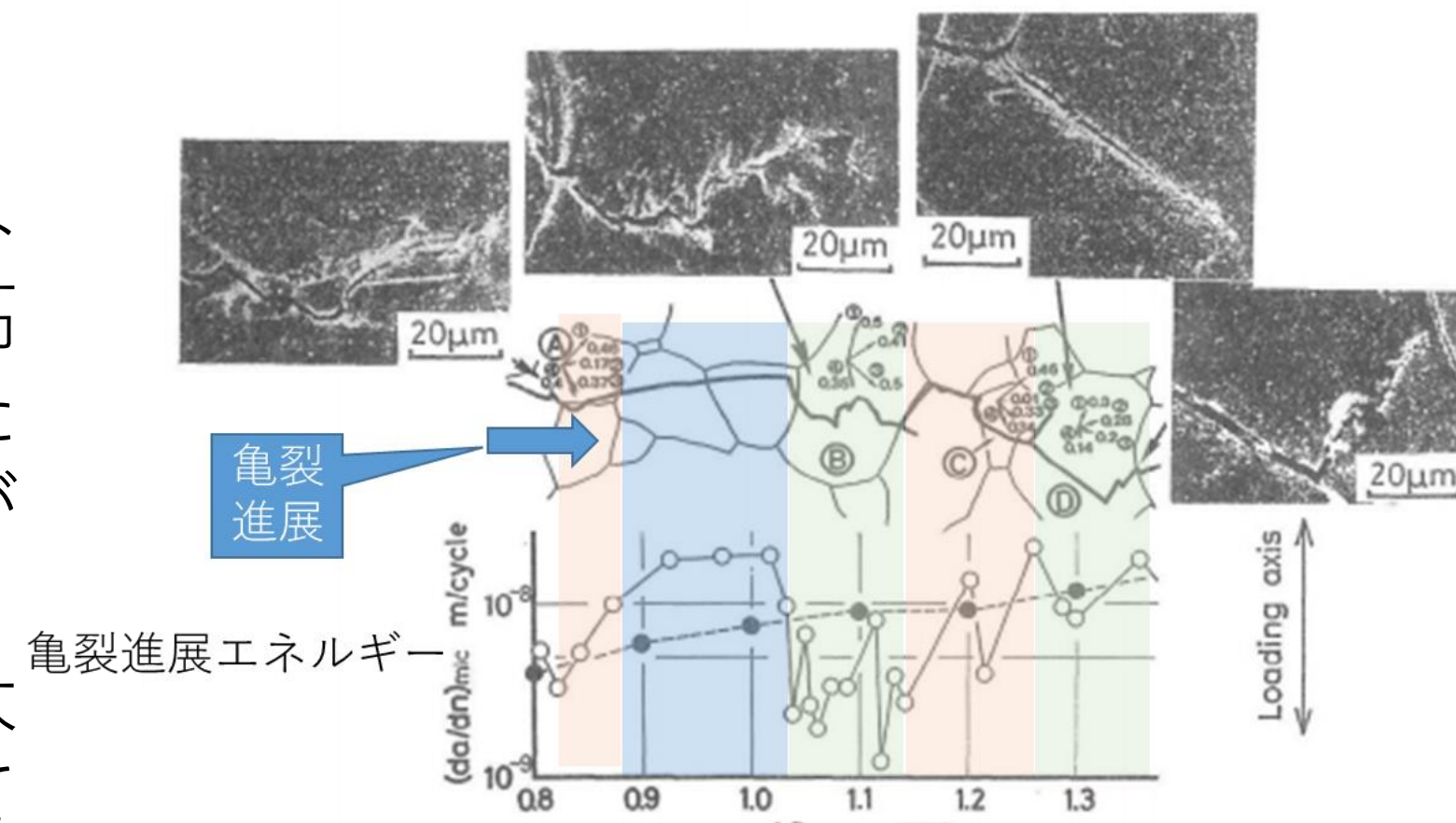


図 亀裂進展エネルギー

つまり結晶粒が粗大化すると組織が脆くなる



自動車用デフギア

地上入力を直接受けるので衝撃強度が必要とされる部品

この現象が発生する実例としては自動車の駆動系に用いられるデファレンシャルギアがある。この部品形状を作成するために冷間歯形鍛造と浸炭熱処理を行う場合がある。この部品は駆動時一ヶ所に大きい荷重がかかるため高い強度が必要とされ、結晶粒粗大化による影響は解決すべき問題となる。このとき冷間歯形鍛造によって部品にせん断ひずみが付与される。また、熱処理は高温であるほど処理が高速化するため、高温であることが望ましいとされている。

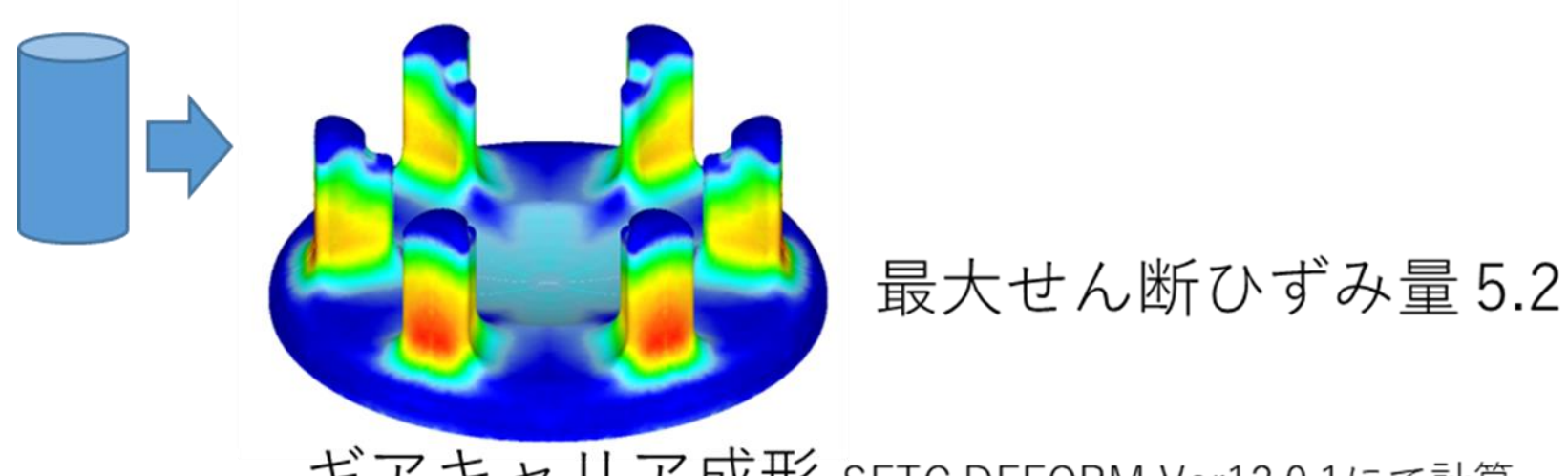
→冷間加工によるせん断ひずみと熱処理の高速化によって結晶粒の粗大化が引き起こされる

目的 熱処理条件とせん断ひずみの交互作用・影響度比較

手法 供試材にせん断ひずみの付与と熱処理を行い、組織を観察する

せん断ひずみ量の検討

ひずみの推定の為に歯車と同様に強い押し出しの部位を持つギアキャリア形成を例として計算すると、押し出しの根本に5.2のせん断ひずみが発生した。



ギアキャリア形成 SFTC DEFORM Ver12.0.1にて計算

本研究ではせん断ひずみ量：2 (小ひずみ)

13 (通常の工程で考えられる最大)

104 (HPT装置1回転時のひずみ量)

の3種類のひずみ量について熱処理時の結晶粒成長挙動を確認した。

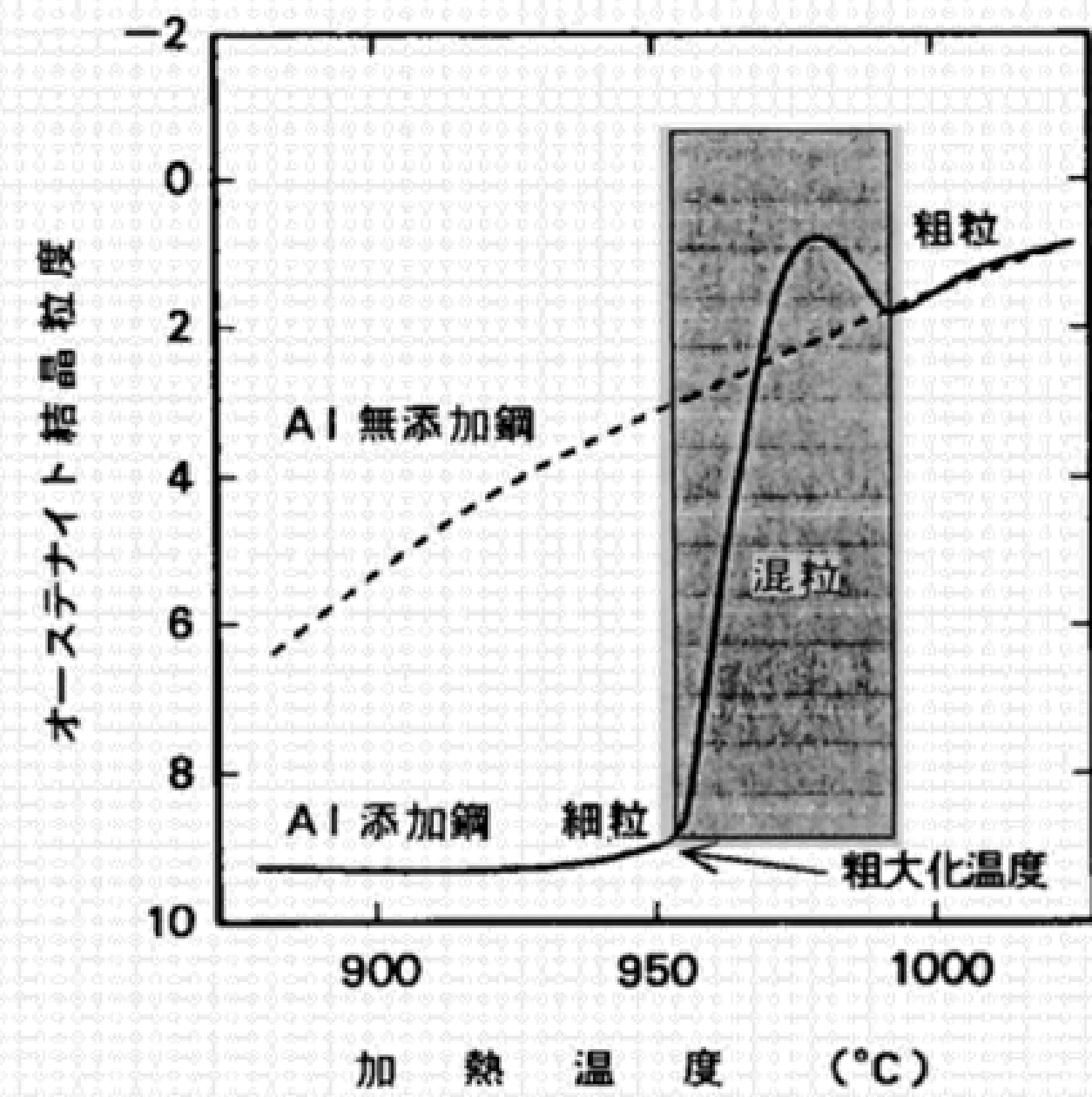
熱処理温度の決定

この熱処理は事前に熱した炉に無酸化環境で材料を入れ、1.5時間加熱し、取り出して水焼入れを行うことで急速に冷やし、材料をマルテンサイト変態させた。この熱処理時の温度は930°C、980°C、1050°Cの3条件であり、それぞれ以下のように決定した。

930°C：一般的な浸炭熱処理時の温度

980°C：右図のオーステナイト粒径が最大となる手前の限界温度

1050°C：C-Fe接触面での部品融解等で通常の熱処理の限界



オーステナイト結晶粒径と加熱温度の関係

実験方法

せん断ひずみの付与と熱処理の実験の方法として、まず材料については駆動系の浸炭焼入部品によく用いられるJIS SCM420H丸棒を使用した。成分は下の表に示すとおりである。結晶粒の粗大化を防ぐためにアルミ、窒素が添加されている。

元素	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo
成分量(wt%)	0.21	0.19	0.76	0.011	0.016	0.01	0.02	1.11	0.21

手順としてはSCM420H丸棒を機械加工で切削、研削を行い、直径20mm、厚さ1mmの試験片に加工した。次にフルテックFT101炉で機械加工時に入ったひずみをとるために600°Cに昇温して1時間保持し、炉冷する焼きなましを行った。そして豊橋技術科学大学の足立先生の協力で図のHPT装置200T型を使用し、せん断ひずみを付与した。加工条件は圧下圧5GPa、回転速度0.2rpmとなっている。そして熱処理を行った後、光学顕微鏡で組織を観察して切断法を用いて平均粒径と最大粒径を調査した。また、靱性の調査のために衝撃試験を行った。実験の方法としてはコイン状の試験片を長さ18mm、幅2mm、厚さ0.5mmの寸法になるよう放電加工機で切り出した。同じく放電加工機によってノッチを入れた。これを微小衝撃試験機に設置し、SUS630を素材とした衝撃刃を速度1m/sで衝突させて試験片を破断し、その時の衝撃吸収値を調査した。



HPT装置200T型

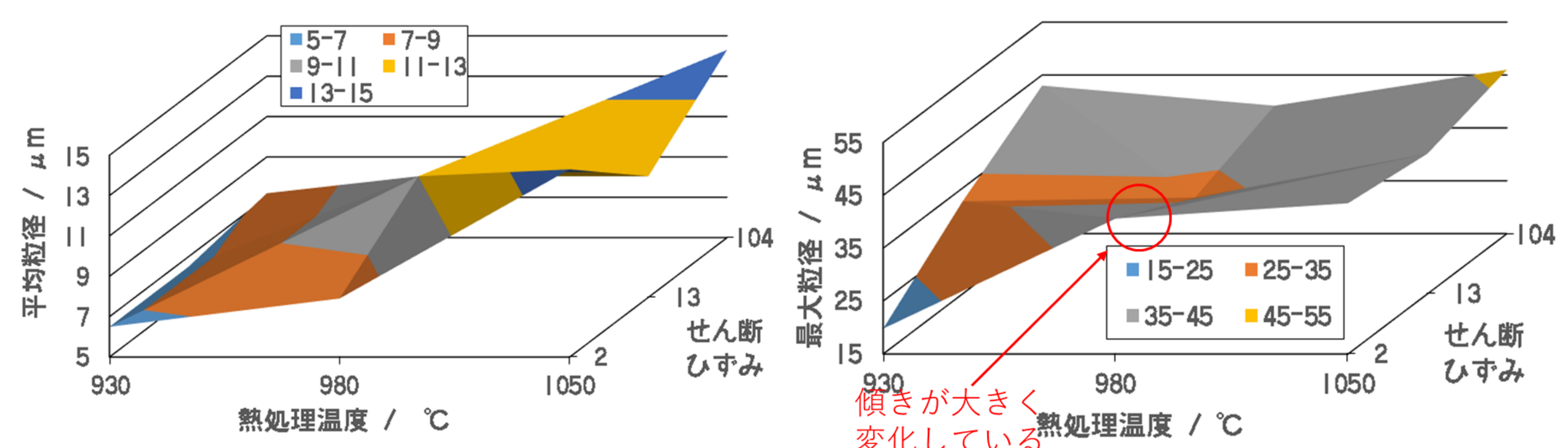
結晶粒観察結果

下图が実験を行った試験片を光学顕微鏡で観察した画像である

		熱処理温度		
		930°C	980°C	1050°C
せん断ひずみ	2	平均粒径：6.5 μm 最大粒径：19.8 μm	平均粒径：7.9 μm 最大粒径：40.6 μm	平均粒径：14.3 μm 最大粒径：43.5 μm
	13	平均粒径：6.5 μm 最大粒径：32.5 μm	平均粒径：11.0 μm 最大粒径：33.2 μm	平均粒径：11.0 μm 最大粒径：41.5 μm
	104	平均粒径：7.2 μm 最大粒径：43.0 μm	平均粒径：8.4 μm 最大粒径：39.2 μm	平均粒径：14.3 μm 最大粒径：46 μm

この右下の数値は切断法によって求めた断面での平均粒径と最大粒径を示している。

→平均粒径の値は右下に行くほど大きくなるという相関関係がある
最大粒径の値もおおむねせん断ひずみ量と熱処理温度が高くなると大きくなるという相関関係があるとみられる

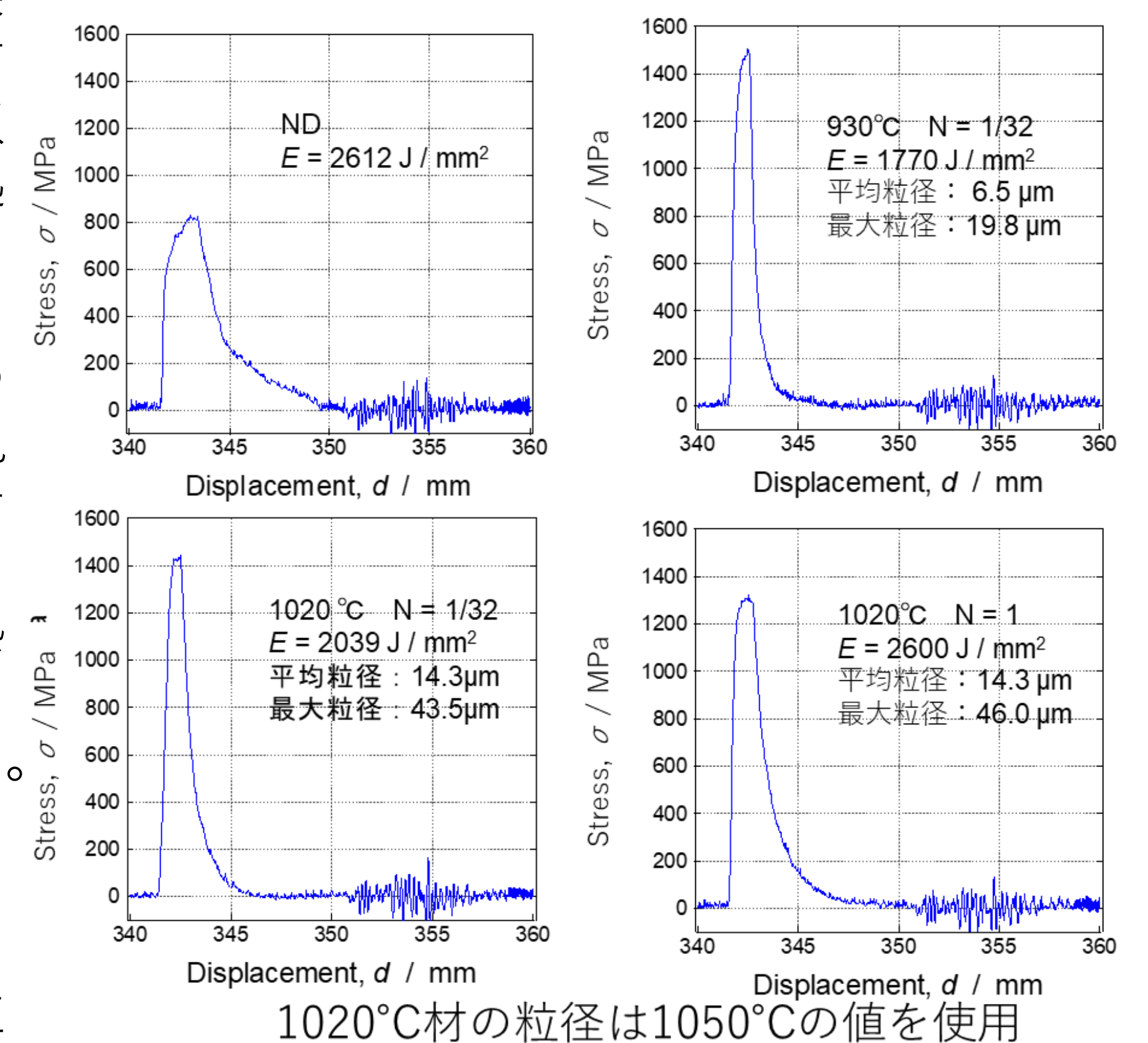


図は観察結果をグラフにまとめたものである。左の平均粒径のグラフを見ると平均粒径は熱処理温度に大きく影響を受け、一定の傾きの相関関係があることが分かる。右のグラフでは最大粒径は両方の処理の影響を受け、傾きが大きく変わる地点があることが読み取れる。この粒径の大きな変化は粗大化の処理がすぐに発生せず、ある閾値を超えたときに急激に結晶が成長する現象が起こったものと考えられる。しかし、2度目の急激な結晶粒径の粗大化の原因についてはまだ予想がつかない。

熱処理温度・せん断ひずみはいずれも結晶粒粗大化の原因になっているが、その影響は同じではない!!

衝撃試験結果

右図が今回の衝撃実験の結果であり、応力ひずみ線図を作成しその積分値から衝撃吸収値を求めた。なお今回の熱処理温度が1020°Cになっているのはミスであり、グラフは1020°Cのものであるが粒径の値は1050°Cのものである。現在は実験環境がないため参考として使用する。とは言え、これを見ると衝撃吸収値が熱処理温度とHPT加工の回転量に比例していることが分かる。ただ、下の2条件の平均粒径は同じになっているものの、衝撃吸収値に違いが表れているため、さらに詳細に結晶粒径を調査することでよりはっきりと結晶粒径と靱性の関係について明らかにできると考えられる。



衝撃吸収値は熱処理温度と回転量に影響を受ける

参考文献

- (1)城野政弘, 菅田淳, 山田真治, 走査電子顕微鏡による疲労き裂進展の動的直接観察, 材料, 37(421), 1988, pp.74-78
- (2)紅林豊, 中村貞行, 結晶粒粗大化防止鋼「ATOM鋼」, 電気製鋼, 65(1),67-75, 1994